

УДК 629.5

DOI: 10.31653/1819-3293-2024-1-29-77-91

ARTICLE HISTORY

Received 05.09.2024

Accepted 18.09.2024

Матейко Олексій Владіславович
НУ "Одеська морська академія", Одеса, Україна
oleksii.matieiko@gmail.com

Забезпечення процесу інертизації вантажних танків суден-газовозів

Matieiko Oleksii
NU "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine
oleksii.matieiko@gmail.com

Ensuring the process of inertization of cargo tanks of gas carriers

***Резюме.** Надані результати досліджень, щодо забезпечення процесу інертизації вантажних танків суден-газовозів. Визначено, що якісне проведення інертизації неможливе без утворення та підтримання у вантажному танку поділяючого шару, який шар попереджує сумішоутворення між парами вантажу, що залишились у вантажному танку та інертним газом, та виконує функції «поршню» за допомогою якого здійснюється витиснення залишків парів вантажу з вантажного танку. Експериментально встановлені значення тиску нагнітання інертного газу за яким процес інертизації здійснюється за найкоротших час з одночасним забезпеченням суцільності та стійкості поділяючого шару.*

***Summary.** The results of research on ensuring the process of inertization of cargo tanks of gas carriers are provided. It was determined that high-quality inertization is impossible without the formation and maintenance of a dividing layer in the cargo tank, which layer prevents the formation of a mixture between the cargo vapors remaining in the cargo tank and the inert gas, and performs the functions of a "piston" with the help of which the remaining cargo vapors are pushed out of the cargo tank. Experimentally*

determined values of the inert gas injection pressure according to which the inertization process is carried out in the shortest time while simultaneously ensuring the continuity and stability of the dividing layer.

В теперішній час природний газ займає домінуючу позицію серед інших видів палива в багатьох країнах Світу. Природний газ використовується двигунах автомобільного, залізничного та морського транспорту, а також в стаціонарної енергетики та для забезпечення побутових потреб.

Сьогодні природний газ – це товар, що продається в усьому світі, який постачається або в газоподібному стані (по трубопроводних магістралях), або в зрідженому стані (спеціальними морськими танкерами-газовозами). Як правило, основні замовники / споживачі газу знаходяться на великій відстані від його родовищ. У цих випадках метод транспортування зрідженого природного газу (ЗПГ) морськими та океанськими шляхами є більш економічним у порівнянні з трубопроводним. Тому, природний газ у зрідженому вигляді перевозиться морським транспортом. Морські термінали імпорту та експорту ЗПГ розташовані практично повсюдно. Це означає, що ЗПГ доступний практично у будь-якій точці світу [1, 2].

Перевезення природного газу танкерами-газовозами здійснюється у спеціальних ізотермічних ємностях, при цьому газ охолоджується до температури $-160 \dots -165$ °С. Саме за цих умов відбувається перехід газу в рідкий стан з одночасним зменшенням його обсягу до 600 разів. Континентальними лідерами експорту ЗПГ є країни, наведені у табл. 1.

Таблиця 1
Країни-лідери з експорту зрідженого природного газу

Країна	Запаси газу (млрд. м ³) на 01.01.2023	Географічний район
Австралія	1600	Західна Австралія
Катар / Іран	35000	Перська затока
Алжир	3500	Північна Сахара
Нідерланди	2100	Північне море
Венесуела	850	Північна Венесуела
США	2300	Мексиканська затока

Танкери для перевезення ЗПГ транспортують величезну кількість природного газу від терміналів зрідження до терміналів регазифікації, які розташовані в морських портах по всьому світу. У цих портах відбувається регазифікація газу та його подальша доставка споживачам. Найбільші регазифікаційні термінали Європи наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Найбільші регазифікаційні термінали Європи

Країна	Термінал	Потужність на 01.01.2023, млрд. м ³
Бельгія	Zeebrugge	9,0
Великобританія	Teesside	4,0
Греція	Revithoussa	5,2
Іспанія	Barcelona	17,1
Італія	Porto Levante	8,0
Нідерланди	Gate Terminal	12,0
Польща	Swinoujscie LNG	5,0
Португалія	Sines	7,6
Туреччина	Marmara Ereğlisi	6,2
Франція	Montoir-De-Bretagne	10,0

У 2023 р. міжнародні постачання газу трубопроводами склали 682 млрд. м³, зрідженого газу суднами-газовозами – 412 млрд. м³. При цьому частка зрідженого газу в загальному обсязі поставок щорічно зростає та за прогнозами, що є, збільшиться до 650 ... 680 млрд. м³ до 2030 р.

Наведені дані підтверджують актуальність розвитку океанських перевезень ЗПГ, що здійснюються суднами-газовозами [3, 4].

Зріджений природний газ є найкращою формою для перевезення та зберігання газу на судах. Однак, все обладнання для зберігання, передачі та використання газу має бути сконструйоване так, щоб постійно підтримувалися необхідні криогенні умови. Крім того, всі технологічні операції з підготовки вантажних танків суден до транспортування ЗПГ, завантаження ЗПГ на судно-газовоз, транспортування ЗПГ з порту завантаження до порту вивантаження, вивантаження ЗПГ, зачищення вантажних танків після вивантаження ЗПГ повинні виконуватися відповідно до розроблених рекомендацій та забезпечувати конструкційну надійність, пожежо- та вибухобезпеку, екологічність та енергоефективність. Це є необхідною вимогою для

безпечного та надійного функціонування суден, що забезпечують перевезення зрідженого газу.

Обов'язковим етапом вантажних операцій в порту вивантаження ЗПГ є інертизація танків. Після закінчення вивантаження в вантажних трюмах суден-газовозів завжди залишається декілька частина вантажу. Це пов'язано з неминучим підвищенням температури ЗПГ під час його вивантаження. Одночасно з цим частина залишків ЗПГ, що перевозився як вантаж, випаровується та (за властивостями газу) займає весь вільний обсяг вантажного танка. Саме на попередження цього ефекту спрямована інертизація вантажних танків, під час якої в них з тиском, підвищеним в порівнянні з тиском залишків парів вантажу, подається інертний газ. Джерелом інертних газів можуть бути випускні газі суднових допоміжних котлів; газі, що генеруються в генераторі інертних газів під час спалювання в них рідкого палива; безпосередньо хімічно чисті азот [5, 6]. В перший двох випадках отримання інертного газу (функції якого утворює діоксид вуглецю CO_2) пов'язано зі спалюванням нафтового палива та додатковим негативним впливом на довкілля [7, 8]. В третьому – генератори азоту забезпечують виділення азоту N_2 з повітря, при цьому в атмосферу повертається чистий кисень O_2 . Генератори азоту можуть входити до складу суднового обладнання суден-газовозів. Постачання азоту в вантажні танки також може здійснюватися з берегових станцій приймання ЗПГ. Цей спосіб (через його більш високу продуктивність) також використовується за умовою скороченої стоянці судна-газовозу та під час необхідності скорішого залишення порту.

Необхідною умовою якісного проведення процесу інертизації вантажних танків суден-газовозів є забезпечення стійкого шару, що поділяє пари вантажу, які залишились в танку, та інертний газ, що в нього подається (рис. 1).

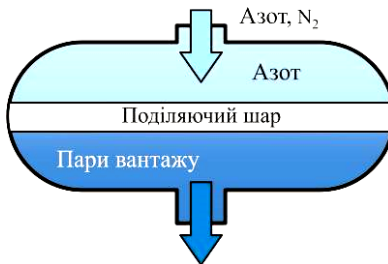


Рис. 1. Утворення поділяючого шару між парами вантажу та інертним газом під час проведення інертизації вантажних танків суден-газовозів

У випадку підтримання стійкого поділяючого шару у вантажному танку забезпечується ефект «поршню», через який здійснюється поступове, але постійне витиснення залишків вантажу. Розрив поверхні поділяючого шару сприяє потраплянню парів вантажу з нижньої частини танку в верхню. При цьому над поверхнею поділяючого шару здійснюється утворення суміші інертного газу та парів вантажу, концентрація яких в загальному об'ємі суміші постійно коливається [9, 10]. Це збільшує час інертизації вантажних танків, та призводить к підвищенню витрати інертного газу, а також (через збільшення витрати енергії на генерації інертного газу) знижує енергетичну ефективність процесу інертизації. Підставою порушення суцільності поділяючого шару у вантажному танку може стати підвищений тиск інертного газу, який подається в танк, або неякісний стан інертного газу. В разі використання азоту це може бути наявність в газі води, яка за низькою температурою перетворюється в лід та може розірвати поверхню поділяючого шару. За умовою використання діоксиду вуглецю суцільність поверхні поділяючого шару може бути зруйнована через механічні домішки та тверди незгорілі частинки, що входять до складу випускних газів [11, 12].

Прагнення прискорити вантажні операції та скоротити час стоянки судна змушує виконувати процес інертизації з максимально можливим для вантажної системи тиском інертного газу [13, 14]. При цьому саме максимально можливий тиск інертного газу, що подається в вантажні танки, є єдиним показником, що вказується нормативних документах, які регулюють виконання вантажних операцій. Одночасно з цим не існує документів, які визнають критичний тиск в системі інертизації, перебільшення якого призводить до порушення суцільності поділяючого шару. При цьому цей тиск може бути різний для різного вантажу, а також для різної кількості остаточного вантажу, що залишився в донній частині вантажного танку після проведення технологічної операції з його вивантаження [15, 16].

Контроль наявності поділяючого шару у вантажному танку неможливий оптичними або візуальними засобами контролю, що обумовлюється непрозорим середовищем всередині танку. Суцільність поділяючого шару, а також рівень, на кому він знаходиться в вантажному танку може бути визначені через вимір концентрації інертного газу в обсязі танку [17, 18]. Відповідно до вимог Кодексу ІМО для газозовів, вантажні танки цих суден обов'язково повинні мати індикатори рівню, які встановлюються на висотах, що відповідають 5 %, 50 % та 95 % від повного об'єму танку [19, 20]. Призначення цих індикаторів – контроль заповнення об'єму вантажних танків. Ці

індикатори знаходяться безпосередньо на бічній поверхні танку в вантажному відділенні судна. Крім того, додатково встановлюються індикатори рівня, що відповідають 20 %, 50 % та 80 % від повного об'єму танку. Візуалізація значень цих індикаторів виведена на пост управління, що знаходиться на вантажній палубі судна. Основне функціональне призначення цих індикаторів – контроль рівномірності завантаження в різних танках під час проведення вантажних операцій з метою забезпечення стійкості судна. Саме через комплексне використання цих двох груп індикаторів можливий контроль суцільності поділяючого шару, що знаходиться у вантажному танку. При цьому як показник, за яким здійснюється цей контроль, необхідно обирати саме концентрацію інертного газу.

Для підтвердження можливості подібного контролю на судні-газовозі з вантажомісткістю 15314 м³ виконувались наступні дослідження.

Після закінчення операцій з вивантаження вантажу забезпечувався процес інертизації його вантажних танків (рис. 2). З цією метою у вантажні танки 6 подавався азот N₂, який генерувався за технологію Pressure Swing Adsorption (PSA) в генераторі 2.

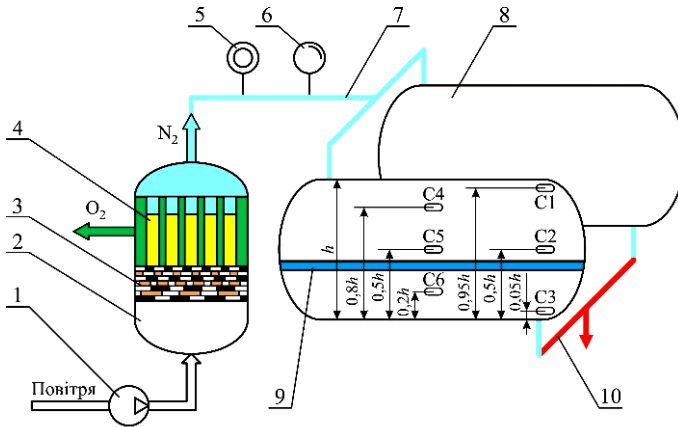


Рис. 2. Інертизація вантажних танків суден-газовозів азотом за допомогою технології PSA:

- 1 – компресор; 2 – генератор; 3 – комбінація фільтрів; 4 – адсорбційні судини; 5 – витратомір; 6 – манометр; 7 – магістраль подачі азоту; 8 – вантажний танк; 9 – поділяючий шар; 10 – магістраль видалення залишків вантажу

Отримання азоту за технологією PSA передбачає виділення азоту з повітря, яке нагнітається до генератору 2 компресором 1. Генератор азоту PSA виробляє азот за допомогою процесу, який починається, коли стиснене повітря проходить через комбінацію фільтрів 3 для видалення мастила та вологи, потім очищене повітря спрямовується в адсорбційні судини 4, що містять вуглецеві молекулярні сита. Вода, що залишилася, вуглекислий газ та інші домішки адсорбуються матеріалом сита. За умовою високих тисків в генераторі сита адсорбують кисень. Азот виробляється з бажаною чистотою, а кисень прямує назад в атмосферу. Генератори азоту PSA можуть виробляти азот із чистотою до 99,9995 %, що дуже актуально для підтримки пожежо- та вибухобезпеки в вантажних танках суден-газовозів, а також для попередження утворення льодових пробок та механічних забруднень в магістралях, якими азот прямує в вантажні танки.

Залишки вантажу, що витісняються азотом з танку 8, магістраллю 10 спрямовуються в інший танк, або в приймальну берегову магістраль. Поділяючий шар 9, що утворюється в вантажному танку, попереджує сумішоутворення парів залишків вантажу (які завжди присутні в танку після вантажних операцій) та інертного газу, що подається в танк.

Кількість та тиск азоту, що генерується в генераторі 2, контролюється за допомогою витратоміру 5 та манометру 6, що встановлені на магістралі 5. Кількість та стан вантажу, що знаходиться в вантажних танках 8, контролюються за допомогою індикаторів C1...C6, які дозволяють одночасне визначення рівню рідини в танку та концентрації парів речовини, що знаходиться всередині танку. Контроль рівню рідини є обов'язковим показників під час завантаження та вивантаження зрідженого газу. Визначення складу парів речовини, що знаходиться в танку, дозволяє діагностувати як процеси завантаження / вивантаження, також і процеси дегазації / інертизації. При цьому в залежності від типу вантажу та способу інертизації можливо одночасно визначення до десяти складових (азот, аміак, бутан, водень, діоксид вуглецю, ізобутан, кисень, метан, пропан, пропілен). Основні індикатори C1, C2, C3 забезпечували контроль показників на рівнях, що відповідають 5 %, 50 % та 95 % від загальної глибини танку. Додаткові індикатори C4, C5, C6 забезпечували контроль показників на рівнях, що відповідають 20 %, 50 % та 80 % від загальної глибини танку.

Одним з завдань дослідження було визначення впливу тиску азоту (який використовувався як інертний газ) на стійкість поділяючого

шару, що попереджує сумішоутворення парів вантажу, які залишились в танку, та азоту, який забезпечує процес інертизації.

Під час дослідження виконувалось вимірювання концентрації азоту в наступних контрольних точках вантажного танку:

на висоті $0,05h$, що відповідає 5 % від загальної висоти танку h (за допомогою індикатору C3);

на висоті $0,2h$, що відповідає 20 % від загальної висоти танку h (за допомогою індикатору C6);

на висоті $0,5h$, що відповідає 50 % від загальної висоти танку h (за допомогою індикаторів C2 та C5);

на висоті $0,8h$, що відповідає 80 % від загальної висоти танку h (за допомогою індикатору C4);

на висоті $0,95h$, що відповідає 95 % від загальної висоти танку h (за допомогою індикатору C1) – рис. 2.

Відповідно до характеристик генератору азоту, тиск азоту, що виробляється в генераторі, складає $0,7 \dots 1,05$ МПа з рекомендованим фрахтувальником експлуатаційним діапазоном $0,8 \dots 1,0$ МПа. В зв'язку з цим дослідження з визначення впливу тиску азоту, що потрапляє в вантажні танки для їх інертизації, на стійкість та суцільність поділяючого шару виконувались зі значення $p_1=0,85$ МПа (яке приймалось як «базове») та подальшого покрокового збільшення тиску: $p_2=0,90$ МПа, $p_3=0,95$ МПа. Тривалість експерименту складала 14 г, фіксація значень концентрації азоту виконувалась через кожні 2 г. Контроль тиску азоту, що подавався в вантажні танки, концентрація азоту за висотою вантажного танку, а також час проведення вимірювань забезпечувався за допомогою мікроконтролерних систем управління [21].

Результати досліджень наведені в табл. 3 - 5. Порівняння результатів, що наведені в табл. 3, 4 та рис. 3, 4, свідчать, що збільшення тиску нагнітання з $0,85$ МПа до $0,90$ МПа прискорює процес інертизації, при цьому час інертизації скорочується зі 14 г до 12 г. Таке підвищення тиску не впливає на стійкість та суцільність поділяючого шару, за що свідчить 100 %-а концентрація азоту за всієї висотою вантажного танку.

Порівняння результатів, що наведені в табл. 3, 5 та рис. 3, 5 свідчать, що збільшення тиску нагнітання з $0,85$ МПа до $0,95$ МПа призводить до поступового руйнування стійкості та суцільності поділяючого шару. Це підтверджується зменшенням концентрації азоту в верхній частини вантажного танку за певний проміжок часу ($8 \dots 10$ г). При цьому відбувається поступове сумішоутворення парів

залишків вантажу та азоту. Процес інертизації вантажних танків погіршується, що змушує виконувати його повторно, одночасно з цим підвищується витрата азоту, збільшуються витрати енергії на його виробництво або отримання, а також підвищуються стоянковий час експлуатації судна. Також необхідно враховувати, що залишки вантажу, що витісняються з вантажних танків азотом, у подальшому спалюються на території берегових вантажних комплексів. Це негативно впливає на екологію портової території та прибережної акваторії.

Таблиця 3
Зміна концентрації азоту під час тиску нагнітання $p_1=0,85$ МПа

Час, г	Концентрація азоту за різною висотою вантажного танку				
	0,95h	0,8h	0,5h	0,2h	0,05h
2	100	34	0	0	0
4	100	68	28	12	0
6	100	84	72	46	23
8	100	100	88	76	58
10	100	100	100	91	81
12	100	100	100	100	100

*Виділено час, за який завершується процес інертизації.

Таблиця 4
Зміна концентрації азоту під час тиску нагнітання $p_2=0,90$ МПа

Час, г	Концентрація азоту за різною висотою вантажного танку				
	0,95h	0,8h	0,5h	0,2h	0,05h
2	100	62	34	0	0
4	100	82	68	29	0
6	100	100	92	62	42
8	100	100	100	84	72
10	100	100	100	100	100
12	100	100	100	100	100

*Виділено час, за який завершується процес інертизації.

Таблиця 5

Зміна концентрації азоту під час тиску нагнітання $p_3=0,95$ МПа

Час, г	Концентрація азоту за різною висотою вантажного танку				
	0,95h	0,8h	0,5h	0,2h	0,05h
2	100	68	42	24	14
4	100	88	78	56	38
6	100	100	100	62	48
8	100	92	72	52	32
10	88	77	68	42	22
12	75	62	44	32	18

*Виділено час, в який відбувається руйнування поділяючого шару.

Для кращої візуалізації, результати, що наведені в табл. 3 - 5, подані як діаграми (рис. 3 - 5).

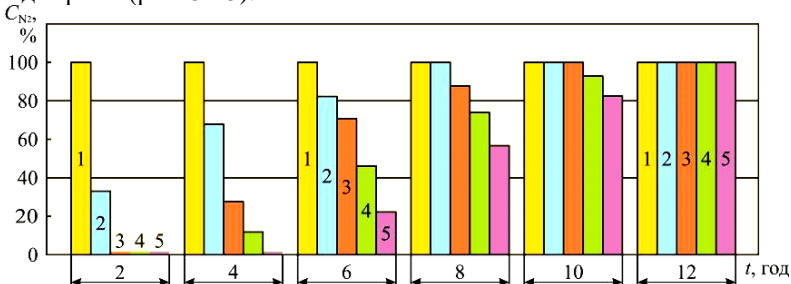


Рис. 3. Зміна концентрації азоту під час підтримання тиску нагнітання $p_1=0,85$ МПа за різною висотою вантажного танку: 1 - 0,95h; 2 - 0,8h; 3 - 0,5h; 4 - 0,2h; 5 - 0,05h

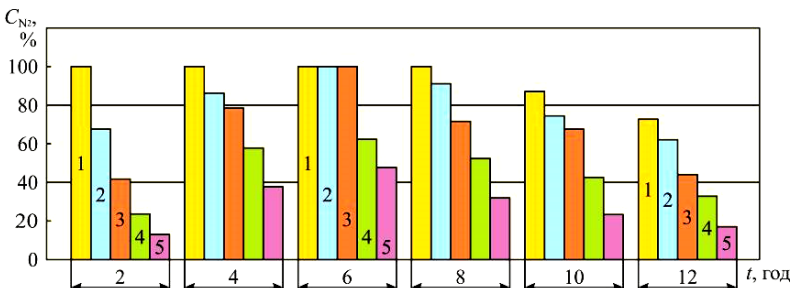


Рис. 4. Зміна концентрації азоту під час підтримання тиску нагнітання $p_2=0,90$ МПа за різною висотою вантажного танку: 1 - 0,95h; 2 - 0,8h; 3 - 0,5h; 4 - 0,2h; 5 - 0,05h

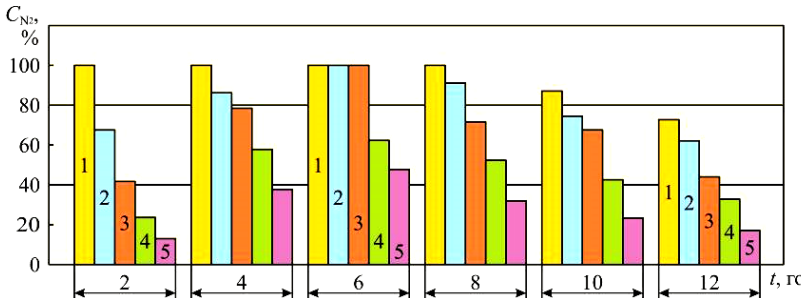


Рис. 5. Зміна концентрації азоту під час підтримання тиску нагнітання $p_3=0,95$ МПа за різною висотою вантажного танку: 1 – 0,95h; 2 – 0,8h; 3 – 0,5h; 4 – 0,2h; 5 – 0,05h

Під час проведення експериментів виконувались всі вимоги щодо безпечної експлуатації суднового допоміжного обладнання, а також вимоги Міжнародного кодексу з побудови та обладнання суден, що перевозять зріджені гази наливом та вимоги MARPOL щодо попередження забруднення довкілля [22 - 24].

Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1. Інертизація вантажних танків після вивантаження перевезеного вантажу є обов'язковим технологічним процесом забезпечення якого можливо шляхом заповнення танків азотом, який або генерується на судні, або подається з берегу.

2. Якісне проведення процесу інертизації можливо лише за умовою забезпечення стійкості та суцільності поділяючого шару, за допомогою якого попереджається сумішоутворення між парами вантажу, що залишився в танку після вивантаження, та інертним газом, що подається у вантажний танк.

3. Рекомендований фрахтувальником діапазон тиску інертного газу, що подається в вантажний танк для забезпечення процесу інертизації, не визначає найбільш раціональних значень – таких, за якими процес інертизації можливо виконати за найменший час з одночасним постійним підтриманням стійкості та суцільності поділяючого шару. Зменшення тиску нагнітання інертного газу сповільнює процес інертизації та збільшує його тривалість. Збільшення тиску нагнітання інертного газу прискорює інертизацію та скорочує час її проведення, але при цьому виникає небезпека руйнування поділяючого шару. Це призводить до виникнення сумішоутворення між інертним газом та парами залишків вантажу та змушує виконувати повторну інертизацію вантажних танків.

4. Забезпечення найкоротшого часу інертизації з одночасним підтриманням стійкості та суцільності поділяючого шару можливо шляхом використання мікроконтролерів, за допомогою яких досягається управління тиском нагнітання інертного газу в залежності від зміну його концентрації за висотою вантажного танку.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

1. Сагін, С. В., Матейко, О. В. Аналіз способів інертизації вантажних танків суден-газовозів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 47. – Одеса : НУ "ОМА". – С. 148 - 156.
2. Sagin S.V., Kuropyatnyk O. A., Zablotskyi Yu. V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More: International Journal of Maritime Science & Technology*. – 2022. – Vol. 69. – Iss. 1. – P. 53 - 61.
3. Сагін, С. В., Матейко, О. В. Особливості інертизації вантажних танків під час перевезення вогнебезпечних речовин // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 2(40). – С. 36 - 49.
4. Zablotskyi Yu.V., Sagin A. S. Applying of fuel additives in marine diesel engines // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2021 – Вип. 43. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 5 - 17.
5. Sagin S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10(10). – P. 1373.
6. Gorb S. I., Budurov M. I. Increasing the accuracy of a marine diesel engine operation limit by thermal factor // *International Review of Mechanical Engineering*. – 2021. – Vol. 15(3). – P. 115 - 121.
7. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píštěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331.
8. Sagin S. V., Kuropyatnik A. A. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric oxides in the exhaust gases of the ship diesels // *American Scientific Journal*. – 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67 - 71.

9. Поповский, А. Ю., Сагин, С. В. Комплексная оценка эксплуатационных характеристик смазочных углеводородных жидкостей // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2014. – Вып. 20. – НУ "ОМА". – С. 74 - 83.

10. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7 - 8. – P. 29 - 35.

11. Сагин, С. В., Куропятник, А. А. Оптимизация режимов работы системы перепуска выпускных газов судовых среднеоборотных дизелей // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2019. – Вып. 25. – Одесса: НУ "ОМА". – С. 79 - 89.

12. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Using exhaust gas bypass for achieving the environmental performance of marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2021. – № 7 - 8. – P. 36 - 43.

13. Горб, С. І., Поповський, О. Ю., Будуров, М. І. Оптимізація налаштування регулятора частоти обертання дизель-генератора // Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 28. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 3 - 16.

14. Горб, С. І. Оптимизация главного двигателя на режиме экономического хода судна // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2019. – Вып. 25. – Одесса: НУ "ОМА". – С. 17 - 34.

15. Levinskyi M. Automatic diagnostic of marine diesel generator lubricating oil condition // Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 28. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 106 - 120.

16. Горб, С. І. Повышение точности численного моделирования рабочих процессов дизелей // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2020. – Вып. 26. – Одесса: НУ "ОМА". – С. 3 - 26.

17. Сагін, С. В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 132 - 142.

18. Сагін, С. В., Мадей, В. В., Сагін, А. С. Робота суднового дизеля на біодизельному паливі // Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 93 - 107.

19. Побережний, Р. В., Сагін, С. В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – Вип. 41. – Одеса: НУ "ОМА". – 2020. – С. 5 - 9.

20. Сагин, С. В. Определение диапазона стратификации вязкости смазочного материала в трибологических системах судовых дизелей // Вісник Одеського національного морського університету: зб. наук. праць. – 2019. – Вип. 1(58). – С. 89 - 100.

21. Горб, С. И., Никольский, В. В., Хнюнин, С. Г., Шапо, В. Ф. Методическое обеспечение технологий автоматизации на базе программируемых контроллеров // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2017. – Вып. 23. – Одесса: ОНМА. – С. 30 - 35.

22. Горб, С. И., Горб, А. С. Программное обеспечение для управления активами на судах // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2018. – Вып. 24. – Одесса: ОНМА. – С. 34 - 48.

23. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskiy Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // Nase More: International Journal of Maritime Science & Technology. – 2022. – Vol. 69. – Iss. 1. – P. 53 - 61.

24. Куропятник, А. А., Сагин, С. В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2018. – Вып. 24. – Одесса: НУ "ОМА". – С. 72 - 80.

Abstract. *The considered question regarding ensuring the process of inertization of cargo tanks of gas carriers. It was determined that all technological operations for the preparation of cargo tanks of vessels for the transportation of liquefied natural gas, loading, transportation, unloading, cleaning of cargo tanks after unloading of liquefied natural gas must be performed in accordance with the developed recommendations and ensure structural reliability, fire and explosion safety, environmental friendliness and energy efficiency. As a mandatory stage of cargo operations in the port of liquefied natural gas unloading, tank inertization is considered - a technological operation, the necessity of which is connected with the fact that after the end of unloading, some part of the cargo always remains in the cargo holds of gas carriers. It is noted that the source of inert gases can be the exhaust gases of the ship's auxiliary boilers; gases generated in the inert gas generator during the burning of liquid fuel in them; and directly chemically pure nitrogen. A schematic diagram of the ship's inert gas generation system is provided, which, through filtration and adsorption, releases nitrogen from the air, which is then supplied to the cargo tanks of the gas carrier. The results of research on ensuring the process of*

inertization of cargo tanks of gas carriers are provided. It was determined that inertization is impossible without the formation of a dividing layer in the cargo tank. This layer prevents the formation of a mixture between cargo vapors remaining in the cargo tank and inert gas, and performs the functions of a "piston" with the help of which the remaining cargo vapors are pushed out of the cargo tank. For a gas carrier with a cargo capacity of 15,314 m³, the values of nitrogen injection pressure (as an inert gas) were experimentally established, according to which the inertization process is carried out in the shortest time while ensuring the integrity and stability of the dividing layer. In order to ensure the shortest inertization time and simultaneously maintain the stability and integrity of the dividing layer, it is proposed to use microcontrollers that control the injection pressure of inert gas depending on the change in its concentration along the height of the cargo tank.